

**DEMANDE
DE CERTIFICAT D'ADDITION**

A2

(21)

N° 77 31413

Se référant : au brevet d'invention n. 76.05201 du 25 février 1976.

(54) Procédé et appareil pour le traitement thermique de zone de longues pièces en alliage de zirconium.

(51) Classification internationale (Int. Cl.²). C 22 F 1/18; C 21 D 9/60; C 22 D 16/00;
G 21 C 3/06.

(22) Date de dépôt 19 octobre 1977, à 13 h 57 mn.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : *Demande de brevet déposée aux Etats-Unis d'Amérique le
22 octobre 1976, n. 735.023 aux noms des inventeurs.*

(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande B.O.P.I. — «Listes» n. 20 du 19-5-1978.

(71) Déposant : GENERAL ELECTRIC COMPANY, résidant aux Etats-Unis d'Amérique.

(72) Invention de : Allan James Kiesler, Peter George Frischmann et Alan Clark Rockwood.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Alain Catherine, GETSCO, 42, avenue Montaigne, 75008 Paris.

Certificat(s) d'addition antérieur(s) :

La présente invention concerne, d'une manière générale, des matériaux pour la construction de réacteurs nucléaires et, plus particulièrement, un nouveau procédé automatique de traitement thermique de zone de conduits en alliage à base de zirconium en vue d'augmenter la résistance de ces conduits à la corrosion occasionnée par les conditions de fonctionnement des réacteurs à eau bouillante. Elle a trait plus particulièrement à une amélioration apportée au procédé de traitement thermique de zone décrit dans le brevet français 76.05201.

Le procédé décrit dans le brevet principal est basé sur un nouveau concept prévoyant un traitement thermique de zone d'une pièce allongée en alliage à base de zirconium, à une température très élevée, pendant un court laps de temps puis un refroidissement très rapide de la pièce de telle manière qu'à l'issue de l'opération, toutes les parties de la pièce aient été soumises à la même température élevée critique et aux mêmes vitesses de refroidissement pour conférer à toute la masse de la pièce les caractéristiques microstructurelles voulues et les y maintenir. Ainsi, par exemple, on fait passer axialement une pièce allongée en alliage de zirconium au travers d'une zone chaude de longueur axiale relativement courte, à une température maximale fixée supérieure à 825°C, puis axialement au travers d'une zone "de trempe" dans laquelle on abaisse pratiquement instantanément d'au moins 125°C la température de la pièce.

En utilisant une bobine de chauffage par induction électrique en faisant passer la pièce à traiter au travers de la bobine et en maintenant la zone de température maximum à l'extérieur de la bobine, on peut faire en sorte, tandis qu'une partie longitudinale de la pièce est encore dans la bobine, de corriger les variations dans la vitesse d'augmentation de température de telle manière que la portion longitudinale atteigne la température critique maximale après avoir quitté la bobine et puisse être refroidie de cette température à une température plus basse choisie, à la vitesse voulue.

Selon la présente invention, on a trouvé que l'on obtenait des avantages significatifs en utilisant de l'eau chaude comme milieu de trempe. Un avantage est la possibilité d'une mesure du réglage de la trempe bien meilleure qu'avec de l'eau fraîche ou froide. Plus important est le fait qu'en effectuant une trempe avec

de l'eau à une température de 60°C ou plus, on réduit fortement ou élimine les distorsions dimensionnelles de la pièce, particulièrement dans le cas de canaux de Zircalloy.

En bref, le procédé de la présente invention consiste à
5 déplacer en continu axialement la pièce en alliage de telle manière que des portions longitudinales successives de cette dernière pénètrent, traversent et quittent une bobine d'induction électrique, puis pénètrent et traversent une zone de refroidissement espacée de la bobine.

10 Au fur et à mesure de l'accomplissement de l'opération, on détermine la température de chaque portion successive de la pièce tandis qu'elle passe dans la bobine et l'on règle l'intensité électrique à l'entrée de la bobine de manière que chaque portion successive de la pièce atteigne une température maximale prédéterminée comprise entre 825 et 1100°C, tandis que cette portion est
15 déplacée dans l'espace compris entre la bobine et la zone de refroidissement.

La suite de la description se réfère aux figures annexées qui représentent respectivement :

20 Figure 1 : une vue en perspective partielle d'un appareil selon l'invention dans une forme d'exécution recommandée, montrant la pièce à traiter en place au cours de son passage dans les zones de chauffage et de refroidissement ;

Figure 2 : une vue similaire à la figure 1, montrant les
25 zones de température croissante dans la portion de la pièce entre les zones de chauffage et de refroidissement ;

Figure 3 : un schéma du montage électrique de l'appareil selon la figure 1, et

30 Figure 4 : un graphique montrant "l'histoire thermique" de deux portions d'une pièce traversant la zone de chauffage.

L'appareil visible à la figure 1 comporte un bâti (non représenté) supportant des stations ou zones de chauffage et de refroidissement 10 et 11 coaxiales et écartées verticalement l'une de l'autre et des moyens de levage vertical tels qu'une grue (non
35 représentée) pour faire descendre un conduit 12 axialement au travers des zones 10 et 11 à une vitesse choisie constante ou variable. On peut prévoir des moyens de guidage convenables (également non représentés) pour maintenir le conduit 12 à une faible

distance radiale de la bobine de chauffage par induction 14 constituant la zone de chauffage 10 et un ensemble de buses de pulvérisation 16 au-dessous de la bobine 14 constituant la zone de refroidissement 11.

- 5 Un générateur-moteur de 200 kW 17 sert de source d'énergie électrique (trois kilohertz) pour la bobine 14 et l'intensité à l'entrée de la bobine est automatiquement réglée pour maintenir la zone de température maximum du conduit 12 au niveau de température voulu, à l'emplacement voulu, le long du trajet de déplacement du
- 10 conduit. Comme on le voit à la figure 3, l'unité de réglage et d'adaptation d'impédance 20 réunit la bobine 14 à la sortie du générateur 17 et le générateur est commandé par des signaux appliqués à l'inducteur du générateur depuis la source de courant alternatif 21 par le circuit en point 23 lorsque la prise 24 est déplacée par un
- 15 servo-moteur 25. Une unité de détection pyrométrique 27 est disposée de manière à détecter les rayonnements émis par la portion du conduit 12 dans la bobine 14. Le pyromètre est réuni à une unité électronique 30 qui est, à son tour, reliée à une unité d'équilibrage continu 32 et à un potentiomètre 33.
- 20 Les buses de pulvérisation 35 de la zone de refroidissement 11 sont disposées en groupes de quatre autour des quatre faces du conduit, tout autour de ce dernier, de telle manière que le refroidissement soit accompli de façon plus ou moins uniforme sur chaque section successive du conduit. Les buses 35 sont réunies à une
- 25 alimentation en eau convenable (non représentée) sous une pression convenable, à peu près à la température ambiante, et des vannes (également non représentées) sont prévues pour régler l'écoulement de l'eau en direction des buses par les conduites représentées reliées à la source. On peut utiliser avantageusement de l'eau à
- 30 une température élevée, telle que 80°C, si on désire opérer avec une vitesse de refroidissement intermédiaire. En fait, comme indiqué ci-dessus, on peut réduire la distorsion dimensionnelle dans le procédé de la présente invention en utilisant une eau de trempe d'une température comprise entre 60 et 88°C, et, de préférence,
- 35 pour diverses raisons entre 66 et 71°C. Cette eau chaude de trempe permet d'utiliser un dispositif de raidissement standard pour traiter la forme du Canal aux tolérances étroites, ce qui constitue un avantage particulier des opérations de production.

L'exemple ci-après illustre la mise en oeuvre du procédé selon l'invention.

Exemple : On fabrique un conduit de 4,26 m de long, de section carrée, ayant 146 mm de côté (coins arrondis) à partir d'un feuillard de Zircaloy-4, norme ASTM B 352, Qualité RA2, de 2,54 mm d'épaisseur, tout d'abord façonné en deux profilés se correspondant que l'on soude bord à bord sur toute leur longueur. On fixe le conduit résultant, que l'on voit en 12 sur les dessins, par sa partie supérieure à un élévateur actionné par un moteur. Cet élévateur permet de faire descendre le canal à la vitesse de 12,7 mm/s au travers des zones de chauffage et de refroidissement 10 et 11. On commande manuellement l'intensité à l'entrée de la bobine 14 lorsque le conduit entre dans la bobine, le réglage automatique étant établi lorsque le pyromètre 27 commence à détecter le rayonnement émis par le conduit à mi-longueur de la bobine. A ce moment, avec le potentiomètre 33 réglé de manière à garantir que le conduit atteint une température de 900-920°C lorsqu'il passe entre les zones 10 et 11, le signal engendré par le pyromètre est enregistré par l'unité d'équilibrage 32 avec pour conséquence que le servo-moteur 25 est activé pour déplacer la prise 24 de manière à augmenter ou à abaisser l'intensité du courant au travers du circuit en pont 23 vers l'inducteur du générateur. Les augmentations et diminutions de l'intensité de sortie du générateur vers la bobine se font automatiquement de cette manière en fonction de la pente prévue pour la courbe de vitesse de chauffage tandis que la portion concernée est bien encore dans la bobine. L'unité de commande automatique agit continuellement de cette manière tandis que le conduit subit un traitement thermique de zone d'une extrémité à l'autre, comme indiqué à la figure 4 dans laquelle les courbes A et B représentent "l'histoire thermique" de deux portions longitudinales différentes du conduit 12. La portion de conduit A a été chauffée selon la courbe A tandis qu'elle se déplaçait au travers de la bobine 14, pour atteindre le niveau intermédiaire correspondant à la mi-longueur de la bobine où le pyromètre est dirigé de manière à recevoir le rayonnement infrarouge, dans le but décrit plus haut. Etant donné que le chauffage, dans ce cas, s'effectue à la vitesse voulue pour que cette portion du conduit atteigne le maximum choisi d'environ 920°C

après que le conduit quitte la bobine 14, il ne se produit pas de changement dans l'alimentation d'entrée de la bobine. Par contre, dans le cas de la portion de conduit B, le chauffage s'effectue à une vitesse moindre de telle sorte que, lorsqu'elle atteint le point médian, le rayonnement infrarouge est inférieur à celui qui est requis par le système de commande automatique et l'unité d'équilibrage 32 actionne le servomoteur 25 qui agit au moyen de la prise 24 et du circuit 23 pour augmenter l'alimentation d'entrée de la bobine 14 à partir du générateur 17. Le changement dans la pente de la courbe B provient de l'augmentation de l'intensité à l'entrée de la bobine, grâce à laquelle la portion de conduit atteint la température maximale voulue au même point extérieur à la bobine 14 que la partie A ce qui garantit le même traitement thermique de zone et se traduit par l'obtention de la même microstructure voulue dans la masse, dans les deux cas, tout au long du conduit 12.

L'extrémité inférieure de la zone de température maximale est à proximité de la zone de refroidissement 11, comme il ressort des figures 1 et 2, de telle manière que les jets d'eau aérée délivrés par la batterie de buses 35 attaquent la surface extérieure du conduit au point où celui-ci est au voisinage de sa température maximale. L'eau pulvérisée est à 70°C et les jets se recoupent grâce à quoi le refroidissement s'effectue d'une manière raisonnablement uniforme tout autour de la périphérie du conduit et au travers des parois du conduit, la température du conduit s'abaisse à 700°C en une seconde ou deux, puis au-dessous de 500°C en six autres secondes. La vitesse à laquelle la température du conduit est réduite peut être réglée en jouant sur le mélange air-eau des jets. En variante, on peut utiliser de l'eau non aérée, mais de préférence l'eau est chaude comme indiqué ci-dessus.

Les opérations de finissage comprenant le calibrage, le sablage et l'ébarbage des extrémités du conduit s'effectuent une fois le conduit 12 enlevé de l'appareil de traitement thermique. Après quoi, on fixe des boutons de guidage de barres de commande classiques (non représentés) au conduit qui est alors prêt à recevoir des barres de combustibles chargées et des grilles d'espacement préalablement à leur mise en place dans un réacteur nucléaire à eau bouillante.

Au lieu de régler l'intensité à l'entrée de la bobine 14, ou en plus de faire ce réglage, comme il est décrit ci-dessus, on peut mettre en oeuvre l'invention d'une manière qui comprenne un réglage de la vitesse de déplacement du conduit 12. Ceci peut
5 s'effectuer automatiquement à partir des signaux provenant du pyromètre ou d'un autre moyen de détection de la température pour régler la température du conduit lorsqu'il atteint un point intermédiaire dans la bobine 14. Ainsi, si le chauffage est accompli
10 à la vitesse indiquée par la courbe B de la figure 3, le moteur commandant la vitesse de descente du conduit sera automatiquement réduite pour permettre un chauffage prolongé pour que la température maximale voulue puisse être atteinte.

REVENDICATIONS

1. Procédé de traitement thermique de zone d'une longue
pièce en alliage de zirconium, en vue d'augmenter sa résistance
à la corrosion dans les conditions de réfrigération des réacteurs
à eau bouillante, selon lequel on fait passer axialement la pièce
au travers d'une succession de zones de température maximale
critique, pendant une durée critique, et lui fait subir une réduction
de température à une vitesse critique, caractérisé en ce qu'il
consiste à déplacer axialement la pièce vers, dans et hors une
bobine d'induction électrique, puis vers et dans une zone de
refroidissement à l'écart de la bobine, à détecter la température
de portions successives longitudinales de la pièce se trouvant
dans la bobine, à régler l'intensité électrique alimentant la
bobine pour que chaque portion successive atteigne une température
maximale comprise entre 825°C et 1100°C lorsque la portion se
trouve dans l'espace compris entre la bobine et la zone de
refroidissement, et à diriger de l'eau à une température de l'ordre
de 60 à 80°C sous forme de jets à l'encontre de la surface annulaire
externe de portions longitudinales successives tandis qu'elles
entrent successivement dans la zone de refroidissement.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que
les portions longitudinales successives de la pièce sont chauffées
par la bobine à une température comprise entre environ 860°C et
930°C et maintenues par la bobine dans cette gamme de température
pendant de 3 à 30 secondes, et en ce que ces portions longitudinales
successives sont refroidies à l'eau successivement dans la zone
de refroidissement à la vitesse de 150°C - 400°C par seconde pour
atteindre environ 700°C, puis à la vitesse de 20°C - 400°C par
seconde pour atteindre 500°C.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que
l'eau est dans la conduite, à une température de 80°C environ.

FIG. 1

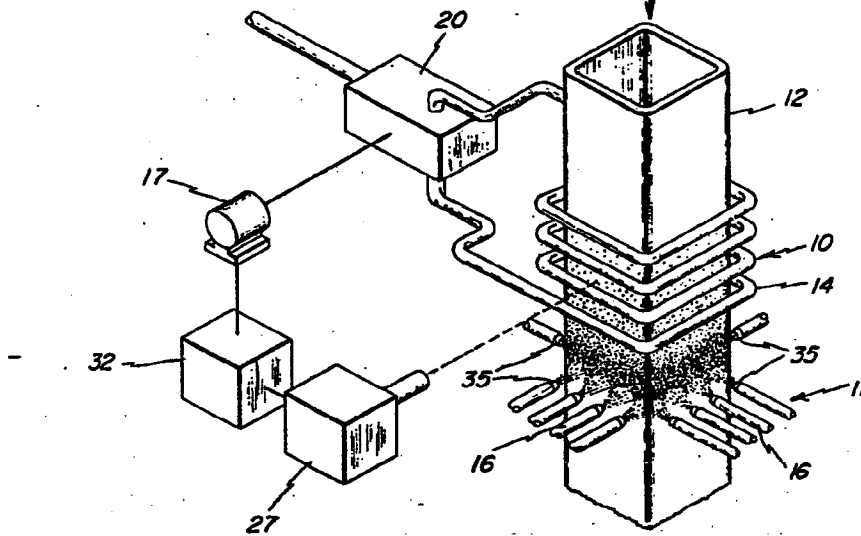


FIG. 2

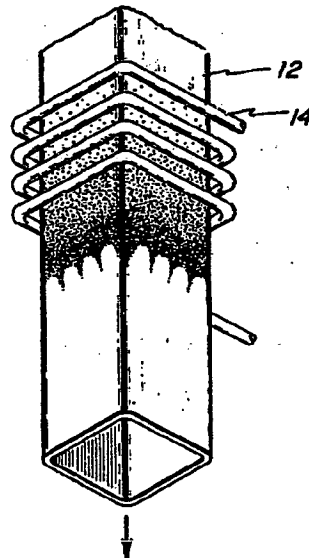


FIG. 3

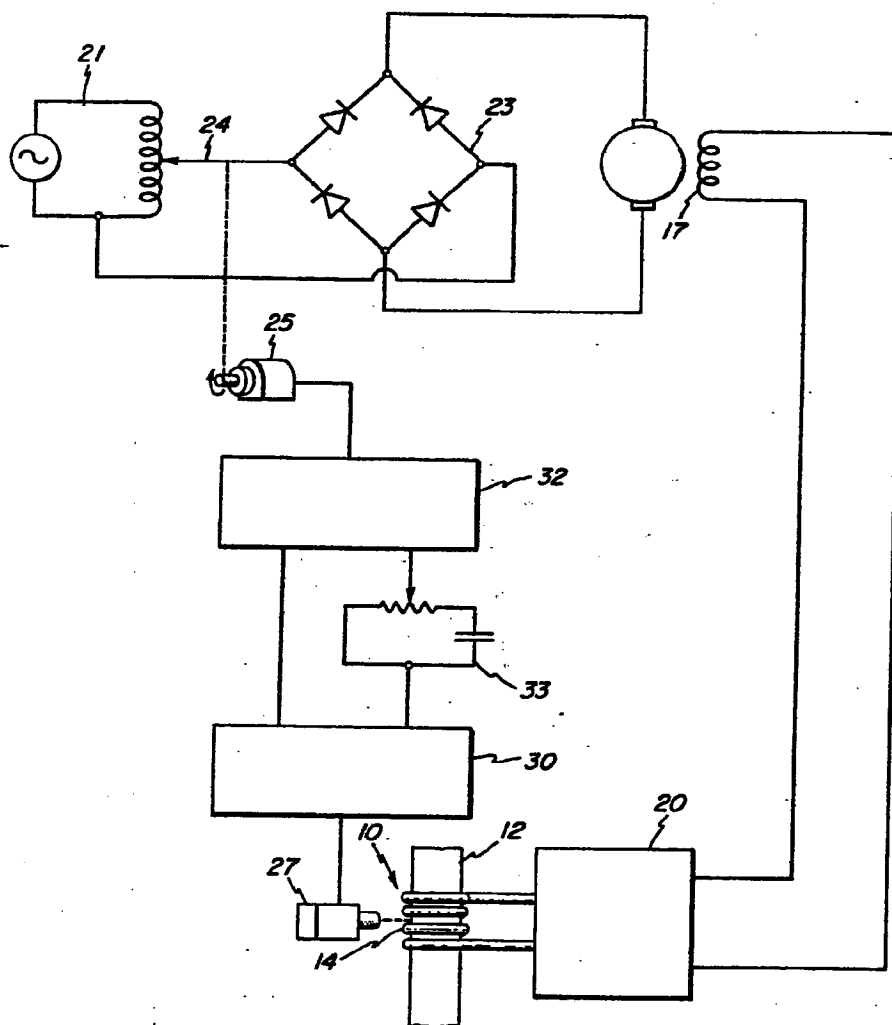


FIG. 4

